

CODE 340

COMPORTAMIENTO DE MORTEROS COMERCIALES DE ALBAÑILERÍA FRENTE A DISOLUCIONES AGRESIVAS

Menéndez, Esperanza¹, Argiz, Cristina², Sanjuán, Miguel Ángel³

1: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)
C/ Serrano Galvache, 4, 28033 Madrid, Spain
e-mail: emm@ietcc.csic.es, web: <http://www.ietcc.es>

2: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid
C/ Profesor Aranguren, s/n, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain.
e-mail: cg.argiz@upm.es; web: <http://www.upm.es>

3: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA)
C/ José Abascal, 53, 28003 Madrid, Spain
e-mail: masanjuan@ieca.es, web: <http://www.ieca.com>

PALABRAS CLAVE: Patología en edificación, durabilidad, morteros de albañilería, eflorescencias.

RESUMEN

Cuatro morteros normalizados, dos del tipo M5 y otros dos del tipo M7,5 de la EN 998-2:2010, se sometieron a la acción de 9 disoluciones agresivas (NaCl -20g/l y 50g/l- Na₂SO₄ -20g/l y 50g/l-, agua de mar conforme con la norma ASTM D1141, K₂SO₄ -2,7g/l- Na₂SO₄ -1,8 g/l- NaCl -0,5 g/l- y una disolución mezcla de estas tres últimas) con objeto de evaluar su resistencia a la aparición de eflorescencias. Los cuatro morteros se sumergieron en las disoluciones de ensayo y se determinó el tiempo de aparición de eflorescencias sobre la superficie de los morteros y se cuantificó el área afectada en éstos. Los resultados obtenidos se compararon con los encontrados en los morteros conservados en agua potable y agua destilada. Concretamente, en estos morteros no se ha encontrado ninguna eflorescencia. Por otro lado, las disoluciones más agresivas han sido las dos que contienen un elevado contenido de sulfato sódico, es decir, las elaboradas con concentraciones de 20 y 50 g/l. En los cuatro morteros sometidos a ambas disoluciones han aparecido eflorescencias después de un día de ensayo. Además, el área afectada en este caso ha sido de unos 40 cm².

1. INTRODUCCIÓN

La eflorescencia es un depósito cristalino, normalmente de color blanco, que puede producirse en la superficie de materiales de construcción tales como ladrillos y tejas, entre otros [1, 2]. El mecanismo de formación de las eflorescencias consiste en tres etapas. Primero, en los poros capilares del material de construcción debe existir una solución acuosa que contiene sales solubles. Posteriormente, los iones procedentes de las sales solubles se difunden a través de la red de poros capilares del material de construcción hacia la superficie externa en la que se esté realizando el proceso de la evaporación. Finalmente, tras la evaporación del disolvente, es decir, el agua de la disolución, los iones precipitan en forma de sales sobre la superficie dando lugar a la eflorescencia. Las sales solubles del material de construcción pueden provenir directamente del propio material como consecuencia de las condiciones específicas de su procedimiento de producción [3], del suelo, del agua que pudiera entrar en contacto con el material de construcción en algunas circunstancias e incluso de la atmósfera salina que existe en algunos ambientes como el marino [4]. La consecuencia inmediata de la aparición de eflorescencias es un problema estético en los ladrillos cara vista, pero también puede llegar a ser un problema durable

al producir un daño microestructural [5] y por la posible pérdida de resistencia frente a los agentes atmosféricos. La formación de eflorescencias aristas y puntos débiles del elemento puede provocar pérdida de material y deterioro en general, que se agrava con la humedad y heladicidad [6].

Por tanto, en algunos materiales de construcción se ha limitado el contenido de sales solubles para evitar la aparición de eflorescencias, como por ejemplo, en el caso de los ladrillos cerámicos, la norma UNE-EN 771-1 [7] limita dicho contenido de sales. Por otro lado, la norma UNE-EN 772-5 [8] describe el método para determinar el contenido en sales solubles activas en las piezas de arcilla cocida para albañilería. En particular, algunos estudios han cuantificado el contenido de sales solubles con relación a la composición de la arcilla utilizada para producir ladrillos [9, 10]. También se han realizado varios estudios encaminados a conocer la relación entre la microestructura del material y la aparición de eflorescencias [11, 12]. Sin embargo, aún no se conoce con certeza el mecanismo de formación [13-15], aunque está claro que los ladrillos, tejas y otros materiales cerámicos que tengan una microestructura de poros accesibles mayor, en general, y de poros capilares, en particular, serán los más fácilmente eflorescibles. Otros factores que también afectan a la formación de eflorescencias son la diferente solubilidad de las sales de los ladrillos y la cantidad de agua circulante por su interior. Los parámetros que habitualmente se emplean para cuantificar el efecto de la eflorescencia son el tiempo necesario para producirse y la superficie de la zona afectada por la eflorescencia. En el caso de los morteros de albañilería, se ha estudiado la influencia de la formación de carbonato cálcico a lo largo del tiempo en la aparición de eflorescencias [16].

En el presente trabajo se pretende conocer si el método de ensayo empleado es válido para evaluar la resistencia de diferentes morteros comerciales frente a la aparición de eflorescencias, el efecto del tipo de disolución de ensayo y la clase de mortero M5 ó M7,5 de la norma europea EN 998-2:2010 [17].

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

Los cuatro morteros ensayados han sido dos del tipo M5 y otros dos del tipo M7,5 de la norma europea EN 998-2:2010 [17] de dos fabricantes de morteros españoles diferentes, designados A y B.

Para evaluar la capacidad potencial de eflorescer de los morteros de albañilería se utilizaron las once disoluciones que se indican a continuación: agua destilada, agua potable, NaCl (20 g/l), NaCl (50 g/l), Na₂SO₄ (20 g/l), Na₂SO₄ (50 g/l) y agua de mar (ASTM D1141 [18]). Por otra parte, se utilizaron las disoluciones que se indican a continuación para evaluar el comportamiento de los morteros de albañilería frente a la acción de disoluciones que simulan las sales lixiviadas de ladrillos con capacidad de florecer:

- K₂SO₄ (2,7 g/l)
- Na₂SO₄ (1,8 g/l)
- NaCl (0,5 g/l)
- K₂SO₄ (2,7 g/l)+ Na₂SO₄ (1,8 g/l)+ NaCl (0,5 g/l)

Estas últimas están basadas en diferentes trabajos experimentales en los que se determinó la concentración de las sales solubles que aparecen como productos de lixiviación de ladrillos eflorescidos. Generalmente, estas sales aparecen combinadas, si bien se ha analizado la acción de cada una de ellas por separado, así como de la mezcla de sales.





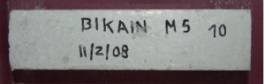

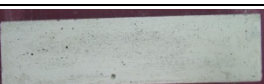

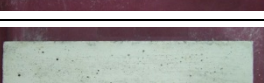



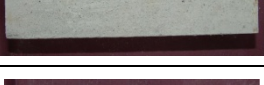
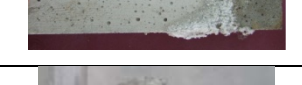







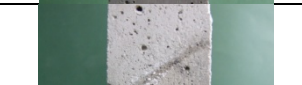
2.2 Método de ensayo

Los morteros se ensayaron de acuerdo con el procedimiento de ensayo descrito en la norma UNE 83830:2010 EX. “Morteros. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Determinación de la capacidad de eflorescer de los morteros para albañilería endurecidos” [19].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN




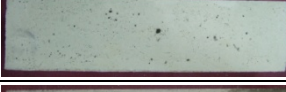
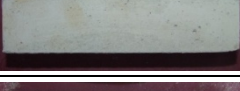




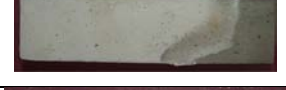

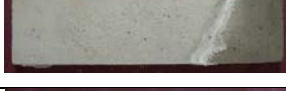



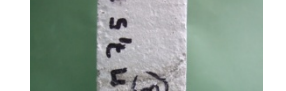
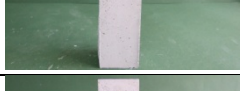
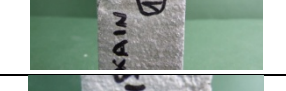

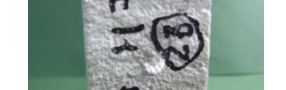
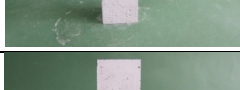
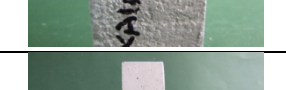
El aspecto de las probetas de mortero de albañilería se observó al inicio, durante y al final del ensayo con el fin de evidenciar la posible aparición de eflorescencias en su superficie. Las Tablas de la 1 a la 4 muestran el aspecto de los morteros de albañilería M5 y M7,5 de ambos fabricantes, antes y después del ensayo. En todos los casos, las disoluciones más agresivas fueron las de sulfato sódico.

Tabla 1: Aspecto de los morteros M5 (fabricante A) en las disoluciones de ensayo.

M5 (fabricante A)		
Disolución	Inicial	Probeta ensayada
Agua destilada		
Agua potable		
Agua de mar		
Cloruro sódico (20g/l)		
Cloruro sódico (50g/l)		
Sulfato sódico (20g/l)		
Sulfato sódico (50g/l)		
K_2SO_4 (2,7 g/l)		
Na_2SO_4 (1,8 g/l)		
NaCl (0,5 g/l)		
$K_2SO_4 + Na_2SO_4 + NaCl$ (2,7 g/l) + (1,8 g/l) + (0,5 g/l)		




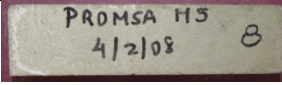
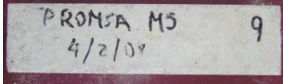
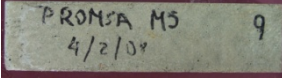




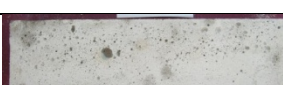

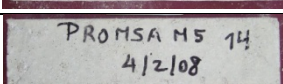





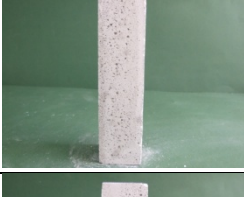
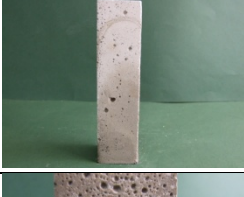


Puesto que la principal causa de la eflorescencia es el transporte por los poros capilares del material, y la posterior acumulación de sales en la superficie debido a la evaporación del agua, la solubilidad de las sales jugará un papel importante. Las más solubles son los cloruros cálcico y sódico (595 y 357 g/l). El sulfato sódico tiene una solubilidad de 195 g/l, menor que la del MgSO_4 (260 g/l) pero mayor que la del KSO_4 (120 g/l). Por otro lado, se puede decir que el CaSO_4 es muy poco soluble (2,09 g/l). Aún más insoluble es el CaCO_3 (0,014 g/l) que forma un velo blanco sobre el mortero si se carbonata [19].

Tabla 2: Aspecto de los morteros M7,5 (fabricante A) en las disoluciones de ensayo.

M7,5 (fabricante A)		
Disolución	Inicial	Probeta ensayada
Agua destilada		
Agua potable		
Agua de mar		
Cloruro sódico (20g/l)		
Cloruro sódico (50g/l)		
Sulfato sódico (20g/l)		
Sulfato sódico (50g/l)		
K_2SO_4 (2,7 g/l)		
Na_2SO_4 (1,8 g/l)		
NaCl (0,5 g/l)		
$\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$ (2,7 g/l) + (1,8 g/l) + (0,5 g/l)		







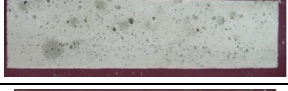

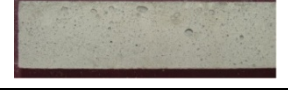



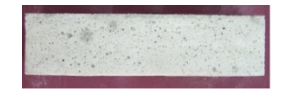


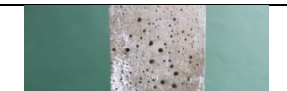



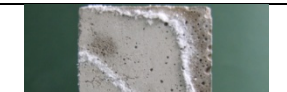


La mayor aparición de eflorescencias con las disoluciones de Na_2SO_4 se puede explicar por el hecho de que esta sal es estable por encima de $32,5^\circ\text{C}$, pero en presencia de humedad y con temperaturas inferiores se hidrata formando $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, que tiene un volumen cuatro veces superior que el de la sal anhidra. En el caso hipotético de que las eflorescencias en obras de fábrica de ladrillo las aportara el mortero, éstas podrían provenir del árido, del cemento o de los aditivos químicos del mortero. En el presente trabajo se ha comprobado que este ensayo es lo suficientemente válido para discernir entre morteros potencialmente eflorescibles de los que no lo son.

Tabla 3: Aspecto de los morteros M5 (fabricante B) en las disoluciones de ensayo.

M5 (fabricante B)		
Disolución	Inicial	Probeta ensayada
Agua destilada		
Agua potable		
Agua de mar		
Cloruro sódico (20g/l)		
Cloruro sódico (50g/l)		
Sulfato sódico (20g/l)		
Sulfato sódico (50g/l)		
K_2SO_4 (2,7 g/l)		
Na_2SO_4 (1,8 g/l)		
NaCl (0,5 g/l)		
$\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$ (2,7 g/l) + (1,8 g/l) + (0,5 g/l)		

Por otro lado, las sales solubles contenidas en los ladrillos son superiores al 2%, por lo que éstas pudieran pasar al mortero de unión. Los componentes típicos de las eflorescencias de los ladrillos son: Na_2SO_4 , K_2SO_4 , CaSO_4 , FeSO_4 , CaCO_3 , Na_2CO_3 , NaCl , $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$, $\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, silicato sódico y compuestos de vanadio, molibdeno, cromo, níquel, manganeso, entre otros. Por tanto, la aparición de estos compuestos en el mortero de unión en la fábrica de ladrillos puede darnos una idea de que provienen del ladrillo y no del propio mortero. Para estar seguros de esta conclusión conviene ensayar el mortero conforme con la norma UNE 83830:2010 EX [19].

Tabla 4: Aspecto de los morteros M7,5 (fabricante B) en las disoluciones de ensayo.

M7,5 (fabricante B)		
Disolución	Inicial	Probeta ensayada
Agua destilada		
Agua potable		
Agua de mar		
Cloruro sódico (20g/l)		
Cloruro sódico (50g/l)		
Sulfato sódico (20g/l)		
Sulfato sódico (50g/l)		
K_2SO_4 (2,7 g/l)		
Na_2SO_4 (1,8 g/l)		
NaCl (0,5 g/l)		
$\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$ (2,7 g/l) + (1,8 g/l) + (0,5 g/l)		

La Figura 1 representa el área efloreceda en los cuatro morteros conservados en las once disoluciones de ensayo. Se puede apreciar que las disoluciones que producen la mayor aparición de eflorescencias corresponden a las que contienen sulfato sódico, tanto con una concentración de 20g/l como con 50g/l. En ambos casos, el área efloreceda está en torno a 40 cm². Por su parte, las disoluciones que simulan las sales que se han lixiviado de ladrillos eflorecedos presentan un área efloreceda en torno a 5 cm²; mientras que en las probetas conservadas en agua potable o destilada, utilizadas como ensayo de referencia, no se observó la aparición de eflorescencias.

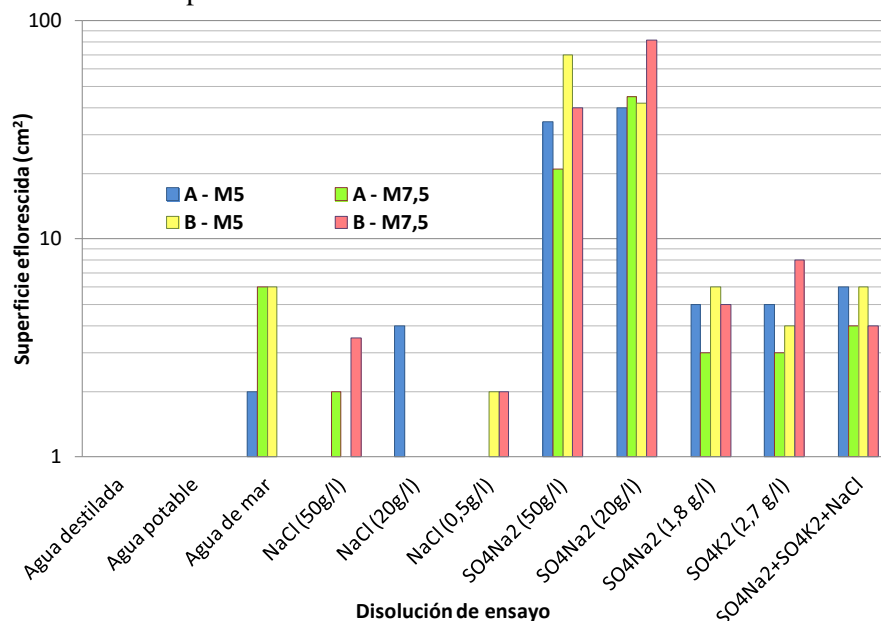


Figura 1. Superficie efloreceda en los morteros conservados en distintas disoluciones de ensayo.

Por otro lado, en la Figura 2 se presenta el tiempo de aparición de las eflorescencias para cada mortero y disolución ensayadas. Se observa que los morteros en los que aparecen antes las eflorescencias son aquellos en los que, a su vez, aparece una mayor superficie efloreceda, es decir, con las disoluciones de sulfato sódico, con una concentración de 20g/l ó 50g/l, en las que aparecen a partir de 1 día de ensayo.

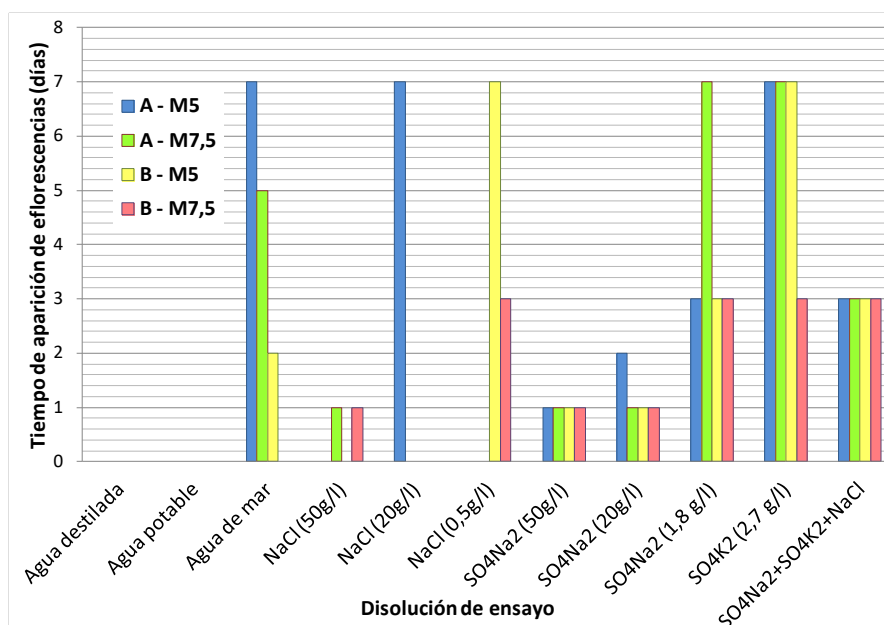


Figura 2. Tiempo de aparición de la primera eflorescencia en los morteros con distintas disoluciones de ensayo.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de los ensayos efectuados se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos en los diferentes morteros de albañilería ensayados presentan características similares en cuanto a las disoluciones con las que aparecen eflorescencias y en el tiempo en que éstas aparecen, si bien esta aparición de eflorescencias es diferente para las distintas disoluciones. Por tanto, el método de ensayo es válido para clasificar a los morteros comerciales en función de su resistencia a la eflorescencia.
- En los morteros conservados en agua potable o destilada no se observa eflorescencia alguna, por tanto, estos morteros no son eflorescibles. Además, se puede concluir que la aparición de eflorescencias en los morteros conservados en los demás medios de conservación se debe a fuentes externas y ajenas al propio mortero.
- Las disoluciones que producen la mayor aparición de eflorescencias corresponden a los sulfatos sódicos, con una concentración de 20g/l y 50g/l, con un área efloreceda en torno a 40 cm²; mientras que las disoluciones que simulan las sales que se lixivian de ladrillos eflorecedos presentan un área efloreceda en torno a 5 cm².
- Con relación al tiempo de aparición de las eflorescencias, se ha comprobado que hay una relación directa entre los morteros en los que aparecen antes las eflorescencias con los que presentan una mayor superficie efloreceda, es decir, los morteros conservados en las disoluciones de sulfatos sódicos, con una concentración de 20g/l y 50g/l. En estas probetas, las eflorescencias aparecen a partir de 1 día de ensayo.
- La aplicación práctica de este estudio en la rehabilitación de edificios se puede resumir en que, en zonas en las cuales el edificio vaya a estar en contacto con sales, es recomendable utilizar los morteros de albañilería M7,5 frente a los M5.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Salvador Ordóñez, Ángel La Iglesia, Miguel Louis, M^a Ángeles García-del-Cura. Mineralogical evolution of salt over nine years, after removal of efflorescence and saline crusts from Elche's Old Bridge (Spain). *Construction and Building Materials* 112 (2016) 343–354.
- [2] Jacek Chwast, Jelena Todorovic', Hans Janssen, Jan Elsen. Gypsum efflorescence on clay brick masonry: Field survey and literature study. *Construction and Building Materials* 85 (2015) 57–64.
- [3] Ana Andrés, M^a Carmen Díaz, Alberto Coz, M^a José Abellán, Javier R. Viguri. Physico-chemical characterisation of bricks all through the manufacture process in relation to efflorescence salts. *Journal of the European Ceramic Society* 29 (2009) 1869–1877.
- [4] Xue Li, Dhrubajyoti Gupta, Hyo-Jin Eom, HyeKyeong Kim, Chul-Un Ro. Deliquescence and efflorescence behavior of individual NaCl and KCl mixture aerosol particles. *Atmospheric Environment* 82 (2014) 36-43.
- [5] Orтели, G., Vicenzini, P., Reduction of efflorescence in brick through addition of ceramic sludges. *Am. Ceram. Soc.*, 1984, 63(8), 1025–1029.
- [6] Brocken, H. and Nijland, T. G., White efflorescence on brick masonry blocks, with special emphasis on sulphate efflorescence on concrete blocks. *Construct. Build. Mater.*, 2004, 18, 315–323.
- [7] UNE-EN 771-1 Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. November 2003.

- [8] UNE-EN 772-5:2002. Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Determinación del contenido en sales solubles activas en las piezas de arcilla cocida para albañilería.
- [9] Rincón, J. M. and Romero, N., Fundamentos y clasificación de las eflorescencias en ladrillos de construcción. *Materiales de Construcción*, 2000, 50 (260), 63–69.
- [10] Dondi, M., Soluble salts and efflorescence in the industrial clay products: a scheme to predict the risk of efflorescence. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 1997.
- [11] Tournieret, T., Beger, F., Mavon, C. and Chambaudet, A., Calcium sulphate formation during the heat-up period: some essential parameters. *Appl. Clay Sci.*, 1999, 14, 299–317.
- [12] Raimondo, M., Dondi, M., Mazzanti, F., Stefanizzi, P. and Bondi, P., Equilibrium moisture content of clay bricks: the influence of the porous structure. *Build. Environ.*, 2007, 46(2), 926–932.
- [13] Héctor Morillas, Maite Maguregui, Josu Trebolazabala, Juan Manuel Madariaga. Nature and origin of white efflorescence on bricks, artificial stones, and joint mortars of modern houses evaluated by portable Raman spectroscopy and laboratory analyses. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 136 (2015) 1195–1203.
- [14] Rincón, J. M^a. and Romero, M., Prevención y eliminación de eflorescencias en la restauración de ladrillos de construcción. *Materiales de Construcción*, 2001, 51(261), 73–78.
- [15] Y. Matsukura, C. Oguchi, N. Kuchitsu, Salt damage to brick kiln walls in Japan: spatial and seasonal variation of efflorescence and moisture content, *Bull. Eng. Geol. Env.* 63 (2004) 167–176.
- [16] Dow C. and Glasser F. P. Calcium carbonate efflorescence on Portland cement and building materials. *Cement and Concrete Research* 33(1) (2003) 147–154.
- [18] ASTM D1141 - 98(2013) Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water.
- [19] UNE 83830:2010 EX. “Morteros. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Determinación de la capacidad de eflorescer de los morteros para albañilería endurecidos”.